

CO₂-Experimente für den Küchentisch

Zwar ist CO₂ ein wenig auffälliges Gas. Dennoch kann man leicht und ganz ohne aufwendige Ausrüstung höchst interessante Beobachtungen daran machen. Es ist möglich, das Gas sichtbar zu machen, man kann es schmecken, man kann sogar mit einfachsten Hilfsmitteln in Sekundenschnelle minus 79 Grad Celsius kaltes CO₂ (»Trockeneis«) herstellen. Es gibt viel zu entdecken! In dem folgenden Beitrag werden Versuche und Beobachtungen beschrieben, die ohne professionelle Apparate und Zuriüstung auskommen. An »Geräten« brauchen wir nur solche, die sich in jeder Küche finden oder die in jedem Supermarkt erhältlich sind.

Schüler und Lehrer, verlasst die Labore – und geht hinaus aufs freie Feld! Es gibt viel mehr Phänomene mit freien Sinnen zu erfahren, als die Lehrmittelhersteller und Science Center sich träumen lassen. Gerade für zentrale Phänomene sind Apparate und »Lehrmittel« nicht nur unnötig, sondern oft geradezu störend. Das gilt ganz besonders für das CO₂.

Vom Wassersprudler zum CO₂-Experimentiergerät

Für die meisten der folgenden Experimente brauchen wir eine CO₂-Quelle. Die steht in vielen Haushalten – sie nennt sich Wassersprudler. Das Prinzip eines solchen Geräts ist immer dasselbe: Ein Wassersprudler enthält eine Gasflasche mit Kohlendioxid – und dieses wird per Knopfdruck in eine zuvor mit Leitungswasser gefüllte Flasche unter Druck eingeleitet. So wird aus fad schmeckendem Leitungswasser ein erfrischender Sprudel. Die CO₂-Patronen, die man in das Gerät einschraubt, enthalten zum Teil flüssiges, zum Teil gasförmiges CO₂, das unter hohem Druck steht. Das CO₂ selbst stammt in manchen Fällen sogar aus natürlichen Quellen (so stammt das CO₂ der Firma Wasserm maxx aus dem Teutoburger Wald), es kann sich aber auch um ein gereinigtes Industrieprodukt handeln. Dann kommt es möglicherweise aus einer Fabrik, die Substanzen für Frostschutzmittel und Seifen herstellt, oder zum Beispiel aus der Düngemittelherstellung.

Den Wassersprudler kann man mit wenigen Handgriffen zu einem höchst vielseitigen Experimentiergerät umbauen:

Man nehme einen Wassersprudler und suche im Baumarkt einen Schlauch, der sich gut über den Nippel schieben lässt, durch den das CO_2 in die Sprudelflasche geleitet wird. Der Schlauch sollte fest aufsitzen. In der Regel ist ein Schlauch mit einem Zentimeter Innendurchmesser geeignet. Es ist ratsam, den Wassersprudler mitzunehmen – damit man einen Schlauch aussucht, der auch wirklich passt. Von diesem braucht man etwa 50 Zentimeter und schiebt das eine Ende des Schlauches dann über den besagten Nippel. Fertig ist der CO_2 -Spender! Damit die Versuche gut funktionieren, sollte man mit einer möglichst frischen CO_2 -Patrone im Sprudler arbeiten.

Immer gut lüften!

Eine typische CO_2 -Patrone enthält 425 Gramm CO_2 . Das sind etwa zehn Mol CO_2 , die unter hohem Druck stehen. Ein Mol CO_2 wiegt 44 Gramm und nimmt bei Zimmertemperatur und normalem Druck ein Volumen von 24,46 Liter ein. Zehn Mol also 244 Liter. Nehmen wir an, wir experimentieren in einem kleinen Raum von zwei mal zwei Metern (der 2,50 Meter hoch ist). Dieser Raum enthält zehn Kubikmeter Luft, das heißt 10.000 Liter. Luft enthält normalerweise 0,038 Prozent CO_2 . Das sind in dem kleinen Raum 3,8 Liter. Entleert man nun eine ganze Patrone CO_2 in dem Raum, dann erhöht man die Konzentration an CO_2 fast um den Faktor 100. Sie beträgt – mit dem ursprünglich vorhandenen CO_2 – nun 2,478 Prozent. Das ist bereits eine gefährliche Konzentration. Sie kann zu Schwindelgefühl, Herzrasen, hoher Erregung, manchmal sogar zur Bewusstlosigkeit führen. Daher beim Experimentieren mit CO_2 immer gut lüften!

Kinder dürfen nur im Beisein von Erwachsenen mit dem Wassersprudler und mit Trockeneis hantieren!

CO_2 hat einen typischen Geschmack

CO_2 gilt als geruchs- und geschmacksloses, unsichtbares Gas. Das alles stimmt genau besehen nicht.

Versuche Folgendes:

- Man hält man den Schlauch des Wassersprudlers in ein größeres Glas und betätigt dann den Knopf. Das CO_2 schnaubt direkt ins Glas. Und es bleibt darin auch für einige Zeit, denn es ist schwerer als Luft. Wenn man sich dieses CO_2 -gefüllte Glas in den geöffneten Mund gießt, erlebt man auf der Zunge den reinen CO_2 -Geschmack. Er ist säuerlich, aber auf eine ganz bestimmte, völlig charakteristische Weise. Man kann sich das CO_2 auch in die Nase gießen: Es bizzelt.
-

Übertreiben sollte man das Einatmen von CO_2 nicht – es kann in hohen Dosen (ein vorsichtiges Schnuppern ist keine hohe Dosis, sonst wäre ja schon das Trinken von Sprudel gefährlich) zur Bewusstlosigkeit, sogar zum Tod führen.

Gesprudeltes Wasser löst Kalk

Dass gesprudeltes Leitungswasser saurer schmeckt als ungesprudeltes, hatten wir bereits festgestellt. Es hat auch eine höhere Lösungskraft. Das zeigt folgender Versuch, für den man eine Messerspitze Kreide braucht.

Kreide ist nichts anderes als Calciumcarbonat. Man erhält sie als Schlammkreide zum Beispiel in der Apotheke oder auch im Haustierbedarf. Auch Schulkreide besteht manchmal aus Kreide, oft jedoch auch aus Gips – und den kann man nicht verwenden.

Wie auch immer man die Kreide erhält, hier der Versuch:

Versuche Folgendes:

- Man füllt ein durchsichtiges Glas mit Leitungswasser, ein anderes mit gesprudeltem Wasser. In beide gibt man etwa eine Messerspitze Kreide hinein. In dem sprudelnden Wasser löst sie sich auf, in dem normalen Leitungswasser dagegen vorerst nicht.
-

Dieses Phänomen erscheint zunächst einmal völlig unspektakulär und ist es auch. Es hat allerdings eine große Tragweite. Denn diese erhöhte Lösungskraft des gesprudelten Wassers hat überall auf der Erdoberfläche ihre Spuren hinterlassen. Fast alle Höhlen verdanken ihre Entstehung kohlendioxidreichem Wasser, das sich wie ein Bergmann durch Kalkschichten gearbeitet hat. Tritt solches Wasser dann irgendwo wieder aus, zum Beispiel an der Decke einer Höhle, dann entschwindet das CO_2 – und der Kalk fällt aus. Aber nicht als hässlicher Haufen oder amorphe Abraumhalde, wie es vor von Menschen gemachten Höhlen und Bergschächten zu geschehen pflegt, vielmehr gibt das Wasser dem Kalk, den es absetzt, noch bezaubernde Formen mit. So können zum Beispiel Tropfsteine entstehen oder auch ganze Terrassen wie in Pamukkale im Südwesten der Türkei.

So hat zum Beispiel der Hamburger Künstler Bogomir Ecker nach jahrelangen Vorarbeiten in der Hamburger Kunsthalle eine Tropfsteinmaschine in Betrieb genommen, die vertraglich bis zum Jahr 2496 laufen soll. Die Maschine baut nach, wie es auch in der Natur zu Tropfsteinen kommen kann. Vom Dach der Kunsthalle wird dabei Regenwasser über ein Biotop aus Graslilien und Kalkstein geleitet, hieraus wird das überschüssige Wasser in verkalkungsfreien Rohren zu einem Tropfer geleitet, der genau dosiert Tropfen auf eine auf Gummi erschütterungsfrei gelagerte Marmorplatte fallen lässt. Die Maschine zeigt, auf welch unterschiedlichen Zeitskalen menschliches Denken und Tun und natürliche Prozesse angesiedelt sind.

CO₂ ist ganz schön schwer

Hierfür brauchen wir wieder unseren umgebauten CO₂-Sprudler.

Versuche Folgendes:

- Nimm einen Luftballon, streife ihn über das Schlauchende und betätige den Knopf: Der Luftballon füllt sich mit CO₂.
- Verknote den Ballon, sodass das CO₂ nicht mehr entweichen kann.
- Jetzt blase einen zweiten Luftballon auf – diesmal mit Atemluft. Verknote auch diesen Luftballon.
- Nun hebe beide Ballons in die Höhe und lasse sie gleichzeitig fallen. Der CO₂-Luftballon ist sehr viel schneller unten (Abbildung 1).

CO₂ ist tatsächlich circa 1,6-mal schwerer als Luft. Deshalb sammelt es sich auch in Bodennähe an. An allen Orten, an denen CO₂ austritt, sind daher kleine Lebewesen besonders gefährdet. So tritt CO₂ zum Beispiel in Burundi in Zentralafrika an verschiedenen Orten aus – es handelt sich dabei um natürliche Entgasungen, die auf vulkanische Aktivität zurückgehen. Dieses CO₂ heißt dort Mazuku, was übersetzt bedeutet: Böser Wind. Es sammelt sich in Bodenkuhlen und ist eine ernste Gefahr – besonders für kleine Kinder, die in solche Kuhlen hineinlaufen. Tatsächlich kommt es immer wieder vor, dass Kinder in solchen Kuhlen ersticken.



Die dunklen Ballons sind mit CO₂ gefüllt und fallen aufgrund ihres höheren Gewichts schneller auf den Boden als die mit normaler Luft gefüllten Ballons.

Bei uns in Deutschland gibt es auch einige Orte, an denen CO_2 natürlich austritt: Die Vulkaneifel ist ein solcher Ort, und es kommt nicht von ungefähr, dass es in dieser Gegend einige große Sprudelhersteller und Getränkeunternehmen gibt. Am Laacher See blubbert das CO_2 an bestimmten Stellen andauernd empor. (Siehe auch in diesem Buch den CO_2 -Spaziergang auf Seite 233–238.)

Gefährlicher ist sein Vorkommen in Brauereien, wo es infolge des Gärungsprozesses reichlich entsteht. Hier sammelt es sich ebenfalls in tiefgelegenen Räumen an und stellt eine ernsthafte Gefahr für die Arbeiter dar – da es unsichtbar ist und man es nicht riechen kann. Alle Brauereien haben daher CO_2 -Warngeräte, die in Bodennähe installiert sind.

Lässt man die Ballons eine Weile liegen, stellt man fest, dass der CO_2 -Ballon sehr schnell einschrumpelt und bald platt ist. Das CO_2 greift die Ballonhaut an! Zunächst ärgerlich, aber das Phänomen zeigt, dass CO_2 bestimmte Stoffe löst. Daher wird es, in flüssiger Form, in der Industrie auch als Lösungsmittel verwendet (zum Beispiel hilft es bei der Herstellung entkoffeinierten Kaffees), aber auch als richtiges Kleiderreinigungsmittel wird es verwendet.

Rauch schwimmt auf CO_2

Versuche Folgendes:

- Wenn man einen großen Topf mit CO_2 füllt und dann ein wenig Zigarettenqualm vorsichtig darauf bläst, schwimmt dieser auf dem CO_2 . Wackelt man ein wenig an dem Topf, dann sieht man, wie das CO_2 beziehungsweise der darauffliegende Rauch in Wellen hin und her schwingt.

Festes CO_2 sieht aus wie Schnee, ist aber viel kälter

In seinen *Sudelbüchern* schrieb Christoph Lichtenberg, »dass die wichtigsten Dinge durch Röhren getan werden. Beweise erstlich die Zeugungsglieder, die Schreibfeder und unser Schießgewehr, ja was ist der Mensch anders als ein verworrenes Bündel Röhren?« Auch der Schlauch, mit dem wir den Wassersprudler umgerüstet haben, ist eine Röhre – und dass auch diese wirkungsvoller ist, als es zunächst scheint, zeigt dieser Versuch. Dabei geht es darum, mit dem umfunktionierten Wassersprudler Trockeneis, also festes, tiefkaltes CO_2 herzustellen. Der Schlauch spielt dabei eine wichtige Rolle. Außer dem Wassersprudler ist ein Stück dunkler Stoff nützlich, wenn auch nicht notwendig (zum Beispiel ein ausrangiertes T-Shirt oder ein Geschirrspültuch oder auch eine dunkle Mütze), sowie eine Tasse mit heißem Tee oder Kaffee (heißes Wasser tut es auch).

Versuche Folgendes:

- Lege ein Kleidungsstück oder ein Tuch aus dunklem Stoff auf den Boden, zum Beispiel eine schwarze Mütze oder ein schwarzes T-Shirt oder auch ein Handtuch.
 - Nimm den Sprudler mit dem Schlauch in die Hand und drehe ihn kopfüber. Mit dem Schlauch zielst du auf das am Boden liegende Tuch.
 - Jetzt mit einem Finger auf den Knopf drücken. Dabei achtgeben – bei manchen Modellen sind die Knöpfe so seltsam konstruiert, dass man sich leicht den Finger einklemmt. Den Knopf etwa eine Minute drücken! Zischend und gurgelnd entweicht das CO_2 – aber auf dem Boden kommt es nicht gasförmig an, sondern als weißer Schnee, der darüber hinaus auch noch dampft!
 - Knautsche mit dem Stoff diese weißen Kristalle zu einem Minischneeball zusammen – es ist Trockeneis, das eine Temperatur von -79°C hat! Also immer nur kurz anfassen (auf keinen Fall in den Mund nehmen!).
 - Werf diesen Trockeneis-Minischneeball in die Tasse Tee oder Kaffee. Es entsteht ein richtig schöner Hexenkesseldampf.
 - Bitte nicht den Trockeneisschnee mit dem Schlauch direkt in Wasser einleiten. Das Ventil des Wassersprudlers kann dabei vereisen.
-

Verantwortlich für die Erzeugung von Trockeneis ist der sogenannte Joule-Thomson-Effekt, der auch bei der Luftverflüssigung und übrigens auch im Kühlschrank eingesetzt wird. In unserem Experiment lässt man flüssiges CO_2 aus der Gasflasche entweichen. Die CO_2 -Moleküle stehen in der Gasflasche unter einem hohen Druck und können nur durch eine kleine Öffnung an der Spitze des Nippels ins Freie flitzen. Dafür brauchen sie viel Energie. Und diese Energie nehmen sie einfach aus der Umgebung. Das flüssige CO_2 wird dadurch so kalt, dass es gefriert. Auch der Schlauch kühlt sich deutlich ab und wird, wenn man länger drückt, sogar ganz steif vor Kälte!

Wer sich nun fragt, ob der Schlauch wirklich für die Erzeugung von Trockeneis so notwendig ist, der kann es ja einmal ohne probieren: Es klappt nicht – das CO_2 verduftet spurlos in der Luft. Nur wenn das CO_2 durch den Schlauch geschickt wird, kühlt es sich ordentlich ab. Was eine simple Röhre doch bewirken kann!

CO_2 ist ein guter Feuerlöscher

Der umfunktionierte Wassersprudler taugt auch – in Maßen – als Feuerlöscher. Dazu muss man ihn nicht umdrehen. Vielmehr bläst das CO_2 die Flamme aus. Viele »richtige« Feuerlöscher arbeiten tatsächlich auf CO_2 -Basis.

Füllt man einen großen Topf mit CO_2 , indem man eine Weile lang welches durch den Schlauch einleitet, dann kann man mit dieser CO_2 -Menge auch kleinere Kerzenflammen – zum Beispiel von Teelichtern – geradezu auskippen.

Versuche Folgendes:

- Man stellt die entzündeten Teelichter dazu auf eine Fläche und gießt dann das CO_2 aus dem Topf vorsichtig darüber: Die Kerzen gehen plötzlich aus (Abbildung 2).



2 Wenn man CO_2 über eine Flamme »gießt«, erstickt sie.

CO_2 kann man hören

Versuche Folgendes:

- In der Gasflasche ist das CO_2 flüssig. Man kann es hören, indem man eine Gasflasche aus dem Sprudler nimmt und für zwei oder drei Stunden ins Tiefkühlfach legt. Dann kühlt sich das flüssige CO_2 noch etwas weiter ab. Nicht viel, aber genug, dass man es nun hören kann, wenn man die eiskalte Flasche hin- und herbewegt.

In CO₂ klingen Töne dunkler

Schon Joseph Priestley wies darauf hin, dass in seiner »fixierten Luft« Töne dunkler klingen. Chladni und viele andere untersuchten das Phänomen; später geriet es, wie es scheint, völlig in Vergessenheit. Zwar ist die Tonveränderung in CO₂ nicht allzu auffallend, man muss schon genauer hinhören. Es lohnt sich aber, den Versuch zu machen. Man benötigt dazu nichts weiter als ein Schnurlos-Telefon mit Freisprechanlage oder irgendeine andere Tonquelle (eine tickende Eieruhr etwa), zwei hohe Kaffeetassen (»Kaffeepötte«), die groß genug sind, dass man das Telefon hineinstellen kann (oder irgendein anderes Gefäß, es ist nicht schlimm, wenn das Telefon ein wenig über den Rand hinausragt), und unseren CO₂-Spender. Wichtig ist, dass die Tasse hoch genug ist, dass der Telefonlautsprecher (von dem der Ton kommt) unter dem CO₂-Spiegel liegt.

Versuche Folgendes:

- Fülle in eine der Tassen CO₂; decke die Tasse anschließend ab.
- Stelle das Telefon auf »Lautsprecher« und drücke dann den grünen Knopf, sodass das Freizeichen ertönt. Es klingt einige Minuten lang (– dann schaltet es auf »besetzt« um). Stelle das Telefon in die CO₂-gefüllte Kaffeetasse und höre den Ton.
- Dann nimm es heraus und stelle es – der Ton erklingt weiterhin – in die CO₂-gefüllte Tasse. Der Ton klingt ein wenig lauter und ein wenig dunkler (Abbildung 3).

Wer meint, dass er sich den Unterschied vielleicht nur einbildet, kann einen Freund bitten, die Tassen so vorzubereiten, dass er selbst nicht weiß, in welcher der Tassen sich das CO₂ befindet. Anhand des etwas anderen Tones kann man dies feststellen.

- 3 CO₂ beeinflusst die Lautstärke und den Klang eines Tons. Wenn man ein Telefon in eine mit CO₂ gefüllte Tasse stellt, klingt es lauter und etwas dunkler als in einer mit normaler Luft gefüllten Tasse.



CO₂ ist unsichtbar? Nicht ganz.

Alles, was unsichtbar ist, gilt als unbehaglich. Besonders dann, wenn dieses Unsichtbare auch noch bedrohlich ist. CO₂ macht sich meist nur indirekt bemerkbar. Aber unter besonderen Umständen kann man es sehen. CO₂ wirft nämlich einen Schatten.

Versuche Folgendes:

- Fülle mit der CO₂-Zapfanlage ein großes Glas mit CO₂. (Einfach Schlauch hineinhalten, Knopf drücken und einige Zeit durchspülen.)
 - Jetzt stelle dich an einem Spätnachmittag oder an einem Vormittag, wenn die Sonne schräg ins Zimmer scheint, so vor eine Wand, dass du den eigenen Schatten sehen kannst.
 - Jetzt das CO₂-Glas auskippen: Man sieht an der Wand die Schattenschlieren des ausfließenden CO₂. Eventuell muss man nahe an die Wand herangehen, um den Effekt zu sehen.
-

CO₂ ist Pflanzenfutter

Hierfür benötigt man neben dem umgebauten Wassersprudler noch zwei große Gurkengläser oder sonst zwei große, verschließbare Behälter. Außerdem benötigt man Wasser, zwei kleine Schnapsgläser, die man in die Gurkengläser bugsieren kann, und zwei gleich große Minzezweige. Minze findet man im Sommer an vielen Orten, zum Beispiel wächst sie oft in der Nähe von Bahnanlagen, Äckern (Rossminze) oder auch an den Ufern von Bächen, Flüssen oder Teichen (Wassermintze). Man kann sie sonst auch oft im Supermarkt, in türkischen Lebensmittelläden oder in Gärtnereien kaufen.

Das folgende Experiment zeigt, dass manche Pflanzen mit mehr CO₂ deutlich schneller wachsen. Tatsächlich wird in professionellen Gärtnereien – zum Beispiel in Holland – CO₂ systematisch zur Düngung in Gewächshäusern eingesetzt. So werden besonders holländische Rosen gern mit CO₂ gedüngt. Denn CO₂ ist für die Pflanzen neben Wasser der wichtigste Stoff, sie bauen ihr ganzes Gewebe ja aus CO₂, das sie durch Photosynthese in Kohlenstoff und Sauerstoff zerlegen. Wenn man ihnen daher mehr CO₂ anbietet, dann wachsen sie besser.

Versuche Folgendes:

- Gurkengläser öffnen, Gurken aufessen, Gläser gut spülen, Etiketten entfernen.
- Auf eines der Gläser CO₂ schreiben; in dieses Glas mit dem Schlauch des umgebauten Wassersprudlers CO₂ einfüllen. Dazu den Schlauch auf den Glasboden legen, Knopf kurz – einige Sekunden – drücken. Das Glas sollte

nicht randvoll mit CO_2 sein – das wäre zuviel des Guten und die Pflanzen können eingehen. Ein kleiner »Schuss« (= ein, zwei Sekunden auf den Knopf drücken) reicht. Dann das Glas verschließen.

- Zwei gleich große Minzestängel abschnippeln (ohne Blüten und ohne braune Blätter), in die mit Wasser gefüllten Schnapsgläser stellen.
- Jetzt lässt man den einen Minzestängel in das CO_2 -Gurkenglas, den anderen in das Luftgurkenglas gleiten, jeweils mitsamt Schnapsglas. Wichtig ist, dass die Stängel in ihren Minikübeln aufrecht stehen und möglichst nicht den Rand des Glases berühren. Beide Gläser verschließen.
- Beide Gläser stellt man nun an einen möglichst hellen, warmen Ort.
- Dann beobachtet man.
- Nach etwa drei Wochen sollte sich zeigen, dass das Pflänzchen im CO_2 -Gewächshaus sich besser entwickelt hat als dasjenige im normalen Luft-Gewächshaus. Da die Bedingungen für die beiden Pflanzen ansonsten gleich waren, ist dies auf das CO_2 zurückzuführen (Abbildung 4).

Man kann den Versuch auch mit anderen Pflanzen durchführen – so kann man anstelle der Minzblätter in Schnapsgläsern auch zwei Wattepad in die Gläser legen, diese gut durchnässen und dann je fünf Zucchini­sa­men darauf verteilen. Die Samen im CO_2 -Gefäß keimen dann zwar später – sie atmen ja beim Keimen CO_2 aus und das ist mühsamer bei erhöhter CO_2 -Konzentration – aber dann wachsen die Pflanzen deutlich besser.



- 4 Die drei linken Minzestängel waren über drei Wochen in einem mit normaler Luft gefüllten Behälter verschlossen, die drei rechten hatten eine mit CO_2 angereicherte Atmosphäre. Auffallend die Unterschiede: Die mit CO_2 »umspülten« Minzpflanzen weisen ein deutlich besseres Wachstum auf, die oberen Blätter haben eine andere Farbe. Die Pflanzen machen insgesamt einen vitaleren Eindruck: Das Wurzelwachstum und die Blattbildung sind stärker ausgebildet als bei den Pflanzen, die unter normalen Bedingungen aufwuchsen.

Der Minzeversuch hat eine lange, eindrucksvolle Tradition. Es waren nämlich, wie in dem Beitrag über die Geschichte des CO_2 ausführlich beschrieben (siehe Seite 128), die Minze und ihr Duft, die den britischen Forscher Joseph Priestley auf die Spur der Photosynthese brachten. Trotz der Entdeckungen von Priestley hielt sich übrigens lange Zeit die Meinung, dass die Pflanzen den Kohlenstoff, den sie für den Aufbau ihrer Zellen benötigen (die Trockensubstanz einer Pflanze besteht zu 40 Prozent aus Kohlenstoff), aus dem Humus beziehen. Diese sogenannte Humustheorie wurde noch Ende des 19. Jahrhunderts vielfach vertreten. Sie hat auch einen wahren Kern. Denn durch die Zersetzungsprozesse im Erdboden entsteht CO_2 . In Bodennähe – auch in der Nähe von Waldboden – gibt es immer deutlich mehr CO_2 als weiter oben. Das könnte auch einer der Gründe dafür sein, dass Pflanzen ihre Spaltöffnungen, also jene kleinen Mäuler, durch die sie atmen, fast immer an der Blattunterseite haben.

CO_2 wird von Pflanzen in Sauerstoff umgewandelt

Sauerstoff gab es nicht schon immer in der Atmosphäre. Vielmehr ist fast jedes Molekül Sauerstoff, das wir atmen, von Lebewesen, also von Pflanzen, Algen oder Bakterien in die Atmosphäre gebracht worden. Es gibt ein klassisches Experiment, das die Sauerstoffproduktion von Pflanzen sichtbar macht. Man benötigt dazu ein Glas Wasser und einige Wasserpflanzen. Am besten funktioniert der Versuch mit Zweigen der kanadischen Wasserpest (*Elodea canadensis*), die in Seen weit verbreitet ist (so sehr, dass sie lästig und daher Pest genannt wurde) – die man aber auch im Zoofachhandel, beim Heimtierbedarf oder in jedem Aquaristik-Geschäft erhält.

Stellt man einen abgeschnittenen Zweig der Wasserpest kopfüber in ein wassergefülltes Glas (damit er kopfüber bleibt, empfiehlt es sich, ihn mit einer hineingestellten Gabel festzuhalten) und stellt das Ganze in die Sonne, dann beginnt an der Schnittstelle bald ein reizender Perlenstrom kleiner Bläschen. Das ist der bei der CO_2 -Assimilation frei werdende Sauerstoff. Wenn man die Pflanze in den Schatten stellt, wird die Perlenschnur bald dünner. Wenn man anstelle von normalem Leitungswasser gekochtes Wasser verwendet, also Wasser, aus dem das CO_2 entfernt wurde (solches Wasser schmeckt entsprechend matt), dann sieht man keine Perlenschnur. Gibt man hingegen einen kleinen Schuss Sprudel hinzu, dann verstärkt sie sich. Man kann auch, wenn man will, den Sauerstoff auffangen.

Man benötigt dazu:

- Einige grüne Wasserpflanzen aus einem See – oder aus einem Zoogeschäft oder Haustierbedarfsgeschäft,
- ein ausgespültes Gurkenglas,

- einen Glastrichter,
- ein Reagenzglas (oder anderes längliches Glas oder Proberöhrchen),
- ein Streichholz.

Versuche Folgendes:

- In das Gürkenglas wird Wasser gefüllt, man legt die Wasserpflanzen hinein.
 - Dann kommt über die Wasserpflanzen der Glastrichter, mit der Spitze nach oben. Die Spitze sollte auf jeden Fall noch von Wasser bedeckt sein.
 - Dann füllt man noch ein Reagenzglas mit Wasser und schiebt es über die Trichtermündung. Möglichst so, dass sich dabei keine Luftbläschen in dem Glas sammeln.
-

Wenn das alles getan ist, kann man in Ruhe abwarten. Nach zwei oder drei Wochen (je nachdem, wie ordentlich die Sonne geschienen hat) ist das Reagenzglas gefüllt. Darin ist Sauerstoff. Das kann man nachweisen – etwa indem man ein Streichholz anzündet und in das Glas wirft. Es flammt dabei hell auf.

Auch Pflanzen atmen

Wir sind so vollkommen darauf versessen, dass die Pflanzen CO_2 füttern und Sauerstoff ausatmen, dass wir oft vergessen, dass die Pflanzen das alles nur können, solange die Sonne scheint. Was aber geschieht nachts? Schlafen die Pflanzen dann einfach? Nun, die Pflanzen wollen auch nachts leben. Um das aber zu können, müssen sie dasselbe tun wie wir auch, sie müssen Kohlenhydrate verbrennen und CO_2 ausatmen.

Versuche Folgendes:

- Man lege in ein Wasserglas zum Beispiel etwas frisch abgeschnittenes Gras und verschließt das Glas dann mit einem kleinen Teller, wobei man die Fuge mit etwas Creme oder Vaseline abdichtet. Wenn man am nächsten Tag in das Glas ein brennendes Streichholz einführt, erlischt es. Die lebenden Grashalme haben allen Sauerstoff verbraucht. Man kann auch keimende Erbsen in das Glas geben – man erhält denselben Effekt.
-

Die Atmung, wie sie Tiere, Menschen und eben auch Pflanzen vollziehen, ist ein Verbrennungsprozess. Man fragt sich, ob dabei nicht auch Wärme frei wird. Der Mensch und das warmblütige Tier verdanken ja der Atmung ihre Körperwärme. Erwärmt sich auch die Pflanze bei Nacht, während sie atmet? In der Natur merkt man davon nichts. Blätter oder Grashalme sind gleichmäßig kühl.

Die Wärme, welche auch die Pflanzen produzieren, wenn sie »atmen wie wir«, kann man allerdings mit einem einfachen Trick spürbar machen:

- ☛ Man sammle zwei bis vier Kilogramm frisch gepflückte Blätter eines Baumes (Weide oder Birne oder Akazie) und lege sie in eine Styroporkiste, die man mit einem Deckel verschließen kann (etwa eine Picknickbox oder eine Transportverpackung).
- ☛ Wenn man nach 15 bis 20 Stunden den Deckel öffnet und in die Blätter hineinfasst, fühlen sie sich auffallend warm an.
- ☛ Man kann auch wenige Blätter in eine leere Thermoskanne legen, ein Thermometer hineinstecken und die Öffnung mit einem Wattebausch verschließen. So kann man die Wärmeentwicklung mit einem Messgerät verfolgen. Mit der Hand ist es aber schöner, außerdem ist es nicht leicht, die Blätter hinterher wieder aus der Thermoskanne herauszufingern.

Diese Wärme ist etwas ganz anderes als die Hitze, die sich manchmal in Heuhaufen entwickelt – denn die Blätter leben ja noch! Es ist tatsächlich ihre Atmungswärme, hier *spürt* man wirklich, dass auch Pflanzen atmende, lebende Wesen sind! Fühlbar wird die Wärme hier deshalb, weil man ihr die Möglichkeit nimmt, zu entweichen.

Der Biologe Hans Molisch, der diese Versuche zuerst beschrieben hat, erzählt, wie er selbst als kleiner Junge das Phänomen der Wärmebildung von Pflanzen entdeckte: »Eines Tages wurden vom Felde ganze Fuhren von frisch gebrochenen Maiskolben heimgebracht und in einen Schuppen auf einem großen Haufen zusammengeschichtet. Als man einen Tag später die Kolben von den Blättern befreite und ich dabei mithalf, spürte ich deutlich, wie sich namentlich die in der Tiefe des Haufens liegenden Kolben heiß oder warm anfühlten. Sie atmeten, entwickelten Wärme, und da sie in hoher Schicht übereinander lagen und sich gegenseitig deckten, konnte die Wärme nicht ausstrahlen und wurde schon mit der bloßen Hand fühlbar.«

In Cola ist ziemlich viel CO_2

In Sprudel und überhaupt in allen Softdrinks ist ziemlich viel Kohlensäure enthalten: Pro Liter Getränk sind es über vier Liter Kohlensäure. Meist merkt man das nicht, da die Kohlensäure so langsam herausperlt. Nur, wenn alles plötzlich aufschäumt, dann wird es auffällig. Wie kann man aber die ganze Kohlensäure auf einen Schlag herausschäumen lassen?

Das gelingt mit folgendem Versuch, der unter der Bezeichnung Cola-Mentos-Fontäne oder auch Colafontäne eine Internetsensation war und weltweit für viel Freude gesorgt hat. Im Internet finden sich viele Filme, in denen solche Fontänen zu sehen sind, und es gibt Akrobaten, die zugleich zehn oder zwanzig Colaflaschen oder sogar Hunderte Colaflaschen zünden (zu sehen auf www.eepybird.com). Am besten funktioniert dieses

Experiment mit Cola Light, da in normaler Cola nicht so viel CO_2 gelöst ist – denn da ist das Wasser praktisch durch den vielen Zucker schon mehr oder weniger gesättigt und kann kaum noch etwas aufnehmen. Übrigens: Den Versuch muss man unbedingt draußen durchführen, da es sonst eine riesige Sauerei gibt.

Man benötigt dazu:

- eine Literflasche Cola Light,
- vier Mentos-Bonbons.

Versuche Folgendes:

- Einfach die vier Mentos-Bonbons in die eben geöffnete Cola-Light-Flasche werfen und zurücktreten. Man muss alle vier auf einmal reinwerfen, also zwischen zwei Finger schichten und rein damit! Das plötzlich austretende CO_2 nimmt fast die gesamte Flüssigkeit mit und es entsteht ein wirklich ansehnlicher Geysir.
-

CO_2 macht es warm

Die Sonne bestrahlt die Erde und erwärmt sie dabei. Das Licht, das sie aussendet, wird dabei von der Erdoberfläche zum Teil in infrarote Strahlen (»Wärmestrahlung«) umgewandelt. Man kann sie normalerweise nicht sehen. Sie sind aber maßgeblich für die Temperatur der Luft. Weil die Erde beständig infrarote Strahlen aussendet, ist die Luft in Erdnähe immer wärmer als die Luft in größeren Höhen – wie man bei jedem Flug feststellen kann. Es gibt einige Phänomene, an denen sich die Existenz dieser unsichtbaren Wärmestrahlung bemerkbar macht. Geht man nach einem sonnigen Sommertag in einer Stadt spazieren, dann spürt man an manchen Mauern, die tagsüber in der Sonne gestanden haben, auch auf ein, zwei Meter Entfernung noch deutliche Wärme. Auch im Winter kann man die Wärmestrahlung beobachten. So findet man an Frosttagen unter stehengebliebenen Gartentühlen oder auch unter einem Trampolin, das im Garten steht, deutlich weniger Raureif auf den Gräsern als auf freien Flächen oder sogar überhaupt keinen. Die Ursache ist, dass die Trampolinfläche beziehungsweise die Sitzfläche der Stühle über dem Gras, in der Nacht den Wärmeverlust des Bodens reduzieren, sodass die Bodentemperatur unmittelbar unter diesen Dingen sowohl am Tag wie auch in der Nacht höher ist.

In der Atmosphäre gibt es nun mehrere Gase, die ebenfalls in der Lage sind, infrarote Strahlung zu absorbieren und dann wieder auszustrahlen. Hierzu gehört in erster Linie der Wasserdampf, aber auch Spurengase wie CO_2 , Methan und andere leisten dies. Diese Gase bewirken zusammen den

sogenannten natürlichen Treibhauseffekt, ohne den die Temperatur auf der Erde bei minus 18 Grad Celsius läge. Er wird gesteigert durch den anthropogenen Treibhauseffekt, der auf dem erhöhten, von Menschen verursachten CO_2 -Eintrag in die Atmosphäre beruht.

Dass CO_2 tatsächlich die Luft erwärmt, zeigt folgendes Experiment, das zwar das einfachste ist, das es zu diesem Thema gibt, das aber immer noch ziemlich hohe Anforderungen an Ausrüstung und genaues Arbeiten stellt:

Dazu benötigt man:

- Zwei Literflaschen Cola,
- zwei Zweiliter-Wasserflaschen aus durchsichtigem Plastik,
- eine(n) Bürolampe/Scheinwerfer mit 100- oder 150-Watt-Birne,
- zwei genaue Thermometer.

Versuche Folgendes:

- Nimm die zwei Zweiliter-Wasserflaschen, trinke sie aus. Schneide sie mit einem scharfen Messer so ein, dass zwei gleich hohe, etwa 20 Zentimeter hohe Behälter entstehen. In acht Zentimeter Höhe wird dann noch bei beiden Gefäßen eine Markierung angebracht, damit man später ein Maß hat, wie hoch die Flüssigkeit eingefüllt werden soll.
- Fünf Zentimeter über dieser Markierung wird dann noch ein kleines Loch angebracht, das denselben Durchmesser wie die Thermometer haben soll – denn die sollen hier hindurch gesteckt werden.
- Von den beiden Colaflaschen wird nun eine geöffnet, damit über Nacht die Kohlensäure aus ihr entweicht.
- Am nächsten Tag füllt man den einen Behälter mit der inzwischen »still« gewordenen Cola und den anderen mit der noch nicht geöffneten Cola genau bis zur Markierung.
- Man wartet nun etwa 30 Minuten, damit die sprudelnde Cola sich ein bisschen aussprudeln kann und das Gefäß gut mit CO_2 füllt.
- Dann steckt man die Thermometer in die Löcher, stellt beide Gefäße unter den Scheinwerfer oder die Schreibtischlampe und knipst das Licht an.
- Das Licht wird von der Cola in Wärmestrahlung umgewandelt – und nun liest man jede Minute die Temperatur an beiden Thermometern ab und trägt diese in eine Tabelle ein.
- Es sollte sich nach etwa zehn Minuten zeigen (und zeigt sich auch meist), dass das Gefäß mit der CO_2 -angereicherten Luft wärmer wird. Der Temperaturunterschied beträgt etwa ein bis zwei Grad Celsius.
- Wenn man noch länger erwärmt und misst, entweicht das CO_2 aus dem Gefäß. Daher nähern sich – wie alle die, die genug Geduld haben, bestätigen werden – die Messwerte ab der zehnten Minute einander wieder an.

Jedes Gerät, sei es ein Computer, eine Waschmaschine oder ein Trockner, erzeugt CO₂. Zwar nicht direkt. Unmittelbar verbraucht es nur Strom. Doch der deutsche Strom wird überwiegend durch Verbrennung fossiler Energieträger gewonnen. Und genau dabei entsteht CO₂.

Man kann nun einen Überblick über die CO₂-Produktion der eigenen Haushaltsgeräte gewinnen, indem man ihren Stromverbrauch misst – und diesen Stromverbrauch in Gramm CO₂ umrechnet.

Dazu benötigt man:

- Ein Strommessgerät, das man zum Beispiel kostenlos bei vielen Städten entleihen kann. Man kann solche Geräte auch bereits für circa 40 Euro im Handel erwerben. Mit einem einfachen Kniff kann man das Gerät in ein CO₂-Messgerät umbauen.

Versuche Folgendes:

- ☞ Fast alle Strommessgeräte erlauben es, dass man den Tarif eingeben kann. Eine Kilowattstunde Haushaltsstrom kostet in Deutschland etwa 20 Cent.
- ☞ Aber eine Kilowattstunde produziert auch im Durchschnitt 583 Gramm CO₂ (genaue Werte kann man beim Stromversorger erfragen) (2). Diese 583 Gramm oder 0,58 Kilogramm kann man nun statt der 20 Cent als Tarif eingeben. Dann zeigt das Strommessgerät einem an, wie viel Gramm oder Kilogramm das Gerät, welches man gerade misst, im Durchschnitt produziert. Eine interessante Information! Wenn das Strommessgerät keine Programmierung zulässt, kann man dennoch durch einfaches Rechnen aus den verbrauchten Kilowattstunden die CO₂-Produktion errechnen.

Wenn man nun mit dem Strommessgerät den eigenen Haushalt durchmisst, dann erhält man, vielleicht erstmals, ein Gefühl dafür, was alles verbrannt werden muss, damit wir unseren alltäglichen Komfort aufrechterhalten können. Und, vielleicht noch wichtiger, man erhält ein Gefühl dafür, wo besonders viel Energie geschluckt wird. Manchmal sind es ganz kleine Geräte, die sogar dann, wenn sie ausgeschaltet sind, munter weiter Strom ziehen! Dies kann man oft unterbinden. Und zwar entweder, indem man die Geräte ersetzt, oder indem man eine Steckerleiste kauft, die das Gerät dann, wenn es nicht genutzt wird, auch tatsächlich vom Netz nimmt. Wo wir gerade beim Energiesparen sind: Natürlich ist es auch empfehlenswert, Energiesparlampen zu kaufen. Denn die verbrauchen nur ein Minimum des Stromes, den sonstige Lampen benötigen. Ansonsten gilt, dass der Stromverbrauch nur einen Teil des CO₂ darstellt, den ein normaler Haushalt produziert.

Als Anhang hierzu noch ein kleines Gedankenspiel: Was wäre, wenn unsere Stromversorgung ganz anders organisiert wäre, als sie es derzeit ist? Derzeit ist es so, dass der Energiekonzern irgendwo eine Kohlegrube ausbuddelt, die Kohle verbrennt, zu Strom macht und uns diesen verkauft. Stellen wir uns für einen Moment vor, alle Kohlegruben dieser Welt, alle Erdgasfelder und alle Uranvorkommen wären erschöpft. Es gäbe ein neues Gesetz, wonach jeder, der Strom bräuchte, Holz sammeln und zum Kraftwerk tragen müsste, wo es schließlich verstromt würde. Wie viel Holz müsste man schlagen, um den durchschnittlichen jährlichen Stromverbrauch eines Deutschen erzeugen zu können? Wie groß müsste die Schubkarre sein, mit der jeder von uns Jahr für Jahr beim Kraftwerk auftauchen müsste, um dafür zu sorgen, dass Radio, Waschmaschine, Fernseher und Computer laufen? Wie kann man das berechnen?

Im Jahr braucht jeder Deutsche im Durchschnitt im Haushalt 1.750 Kilowattstunden Strom. Für die Produktion von einer Kilowattstunde Strom benötigt man mindestens 500 Gramm gutes Brennholz, zum Beispiel trockenes Buchenholz. Wenn man voraussetzt, dass ein Kilogramm ganz trockenes Buchenholz einen Brennwert von fünf Kilowattstunden hat und die Umwandlung in Strom mit einem Wirkungsgrad von 40 Prozent möglich ist, bräuchte man für die 1.750 Kilowattstunden demnach 875 Kilogramm. Das sind rund 73 Kilogramm im Monat. Schon eine Menge Holz!

Nun macht aber der Stromverbrauch im Haushalt nur einen Bruchteil des Energieverbrauchs aus, den jeder von uns insgesamt hat. Die größte Energiemenge (und damit auch der größte CO₂-Ausstoß) ist mit dem Heizen verbunden und mit der Warmwasserbereitung. Und unser Energieverbrauch hört damit nicht auf. Denn wir fahren ja auch Auto, Bahn, nehmen gelegentlich das Flugzeug und so weiter. Man hat berechnet, dass der Gesamtenergieverbrauch eines Deutschen – mit Heizung, Autofahren, allen Fabriken, dem Stromverbrauch im Kühlregal im Supermarkt, allen Zügen, Flugzeugen, Lkw et cetera – nicht weniger als 56.000 Kilowattstunden im Jahr beträgt. In Holz umgerechnet wären das 2.336 Kilogramm Buchenholz im Monat.

Anmerkungen

¹ Diesen schönen Versuch fand ich in dem Buch von David Wilgenbus, Nathalie Bois-Masson und Alain Chomat: *Le climat, ma planète ... et moi!* Paris: Le Pommier, 2008, S. 49–52.

² Wäre man statt von einem durchschnittlichen Stromversorger zum Beispiel von einem »Ökostrom«-Anbieter versorgt, dann würde der Strom kein einziges Gramm CO₂ erzeugen – weil er dort nämlich aus Windkraft oder Wasserkraft oder auch aus Photovoltaik erzeugt wird. Völlig umweltneutral sind freilich auch diese Produktionsformen nicht.